

ПРИМЕНЕНИЕ ИСОМ-ПОДХОДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ

08, август 2016

Берчун Ю. В.^{1,*}, Бурков П. В.¹, Зудина О. В.¹, Посполита Н. В.¹, Семёнов И. И.¹

УДК 519.876.5

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Y_berchun@mail.ru

Введение

Имитационное моделирование находит широкое применение при разработке сложных технических и организационно-технических систем, а также при управлении процессами, в них протекающими. Применение имитационного моделирования объясняется необходимостью учёта стохастического характера рассматриваемых процессов и параметров анализируемых систем, что ограничивает возможности использования методов оптимизации, изначально предназначенных для описания детерминированных систем. Выбор рациональных вариантов построения систем в различных прикладных областях, оптимизация их параметров и обоснование эффективности алгоритмов управления опираются на статистический анализ результатов моделирования. В условиях возрастающей экономической конкуренции умение применять методы математического моделирования и разрабатывать оригинальные модели систем на различных уровнях представления, становятся одной из важнейших компетенций современного инженера [1].

Стохастическое моделирование систем применяется в самых различных отраслях. Можно привести примеры моделей в области прогнозирования ресурса элементов конструкций [2] и технических систем [3], при проектировании установок для проведения физических экспериментов с потоками частиц, обладающих высокой энергией [4]. Важный класс имитационных моделей составляют дискретно-событийные и многоагентные модели систем массового обслуживания [5]. Они находят своё применение при моделировании транспортных потоков [6], дорожного трафика [7], производственных систем дискретного [8] и непрерывного [9] типов, управления снабжением и логистических цепочек [10], складской [11] и производственной [12] логистики, стратегического управления предприятиями [13], потоков данных в вычислительных машинах [14] и телекоммуникационных сетях [15] и т.д.

В этой связи разработка программного обеспечения для имитационного моделирования сложных систем является актуальной задачей. Методические основы построения такого программного обеспечения восходят ещё к классическим работам, таким как [16].

Также необходимо упомянуть фундаментальную монографию [17], признанную ведущими мировыми издательствами классикой Computer Science. Среди русскоязычных (непереводных) учебников и монографий, посвящённых вопросам построения имитационных моделей, следует отметить [5, 18-19]. В работе [20] рассматривается интеграция средств имитационного моделирования и искусственного интеллекта для выработки оптимальных решений в процессе моделирования. Кроме того, следует упомянуть источники, в большей степени ориентированные на особенности разработки имитационных моделей с использованием распространённых языков и инструментальных сред моделирования (например, GPSS [21] и AnyLogic [22]).

Ключевой особенностью имитационного моделирования является применение дискретно-событийного механизма продвижения модельного времени. Различают два подхода к моделированию – с планированием событий и на основе процессов [17-18]. Различия этих двух подходов относятся скорее к стилю описания модели, не меняя принципиально самого механизма продвижения модельного времени. С точки зрения программной реализации в первом случае оперируют глобальными списками событий, логически не связанных между собой. Во втором подходе моделируемый процесс в некоторой прикладной области предполагает генерацию определённой цепочки событий при каждой активации этого процесса. Синхронизация процессов между собой всё равно предполагает ведение централизованного списка событий в системе.

Разработчик прикладных имитационных моделей с использованием некоторой инструментальной среды моделирования всегда занимается формализацией реальных процессов, поэтому процессный подход для него является более естественным. Не случайно все современные инструментальные среды имеют графический интерфейс, который позволяет описать модель именно в процессном стиле.

Разработка прикладной имитационной модели фактически сводится к описанию бизнес-процессов, что в терминах системного анализа можно назвать разработкой потоков работ (workflow). Схожую работу выполняют системные аналитики, которые занимаются разработкой корпоративных информационных систем, а также реинжинирингом бизнес-процессов организации. При этом системные аналитики используют CASE-инструменты, основанные на стандартизованных графических нотациях (например, UML, IDEF, ARIS, BPMN).

Однако системный аналитик сосредоточен на том, чтобы добиться непротиворечивости и отсутствия избыточности отдельных процессов, при этом он абстрагируется от распределения ресурсов, которые должны исполнять работы в рамках описываемого процесса. Разработчик же прикладных имитационных моделей оперирует потоками входных заявок (обычно называемых транзактами), каждая из которых активирует тот или иной процесс. При этом основной его задачей является посредством моделирования оценить соответствие ожидаемой интенсивности заявок на входе рассматриваемой системы её пропускной способности (которая зависит от объёма и способа распределения ресурсов этой системы).

Таким образом, имитационная модель фактически представляет собой разновидность workflow, отличающуюся включением в модель ресурсов. Такая детализация в ряде случаев (например, одновременное применение функционально однотипных ресурсов, отличающихся по производительности или стоимости использования) приводит к необходимости проработки конфигураций системы, которые различаются не параметрически, а топологически.

Недостатком существующих имитационных моделей является и отсутствие полноценной поддержки иерархии модели. Моделируемый процесс может быть достаточно длинным и сложным, в него могут вноситься топологические изменения, что повышает вероятность ошибок и требует дополнительного времени разработчика на отладку и верификацию каждой конфигурации в отдельности. Существующие подходы к поддержке иерархии делают акцент на объединении нескольких работ, но не ресурсов и не поддерживают логических связей с другими процессами и подпроцессами в рамках модели. Эти аспекты разработчик должен отслеживать самостоятельно.

В рамках данной статьи предлагается способ преодоления указанных недостатков. Он заключается в применении стиля описания модели, который изначально адаптирован для поддержки иерархии модели. Предлагаемое решение основано на использовании методологии функционально моделирования IDEF0 [23] для декомпозиции рассматриваемой системы.

Принципы декомпозиции имитационной модели

Наиболее распространённым методом описания взаимосвязей в сложных системах является ICOM-подход (Input, Control, Output, Mechanism). Он лежит в основе стандарта IDEF0. Данный стандарт предусматривает построение диаграмм, элементами которых являются функциональные блоки (activities). На диаграммах IDEF0 функциональные блоки представляются следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Функциональный блок IDEF0

Такое описание может служить моделью при структурном системном анализе системы, но, очевидно, для математического моделирования является слишком упрощённым. Но важным является способ организации модели и описание взаимосвязей между компонентами. Вместо сетевой имитационной модели, в которой предусматривается только перенос заявок с выхода одного элемента на вход последующего, мы получаем более гибкую структуру модели каждого компонента, позволяющую варьировать состав выделяе-

мых для решения задачи (реализации функции) ресурсов, а также управлять совместной логикой работы нескольких блоков, объединённых единой цепью управления. Следует подчеркнуть, что в данном случае акцент делается на структурном аспекте описания модели (отражающем её иерархию). Поведенческий аспект относится к функциональным блокам, находящимся на самом нижнем уровне иерархии. В рамках данной статьи он не рассматривается.

Конкретизируем понятия входов, выходов, управления и механизмов исполнения для моделей систем массового обслуживания (рис. 2).



Рис. 2. Функциональный блок системы массового обслуживания

Входы и выходы функциональных блоков имеют тот же смысл, что и в традиционных сетевых имитационных моделях. Разница состоит лишь в том, что в сетевых моделях ресурс непосредственно включён в маршрут движения заявки, а в предлагаемом подходе ресурс определяется внутренней логикой функционального блока (его поведенческим описанием). Тем самым достигается разделение представления информации о топологии связей в рамках процесса и дисциплинах обслуживания.

«Механизмы исполнения» функциональных блоков — это совокупность ресурсов, выделенных для реализации функции, реализуемой блоком. В системах массового обслуживания традиционно выделяют ресурсы двух типов: устройства обслуживания (серверы) и накопители (хранилища). Логика выбора конкретного ресурса определяется поведенческим описанием для функциональных блоков, находящихся на нижних уровнях иерархии модели. Важно отметить, что одни и те же ресурсы могут совместно использоваться несколькими функциональными блоками. Разрешение конфликтов при попытке занятия ресурсов осуществляется на основе приоритетов транзактов. Изменение уровня приоритета относится к поведенческому описанию функциональных блоков, находящихся на нижних уровнях иерархии имитационной модели.

Можно рассматривать и другие механизмы исполнения. Например, для некоторых прикладных задач характерно большое количество транспортных операций. Поэтому при построении модели необходимо учитывать географический аспект и возможности транспортных средств. Однако этот вопрос выходит за рамки данной работы и приведён здесь только для иллюстрации того, что механизмы исполнения функциональных блоков могут не ограничиваться только устройствами обслуживания и накопителями.

Входы управления функциональных блоков позволяют отразить изменение поведения (дисциплины обслуживания или логики выбора ресурса) в зависимости от состояния дру-

гих объектов системы. Поэтому предусмотрен обмен информацией между функциональными блоками посредством вспомогательных переменных, которые инкапсулируются в функциональных блоках более высокого уровня иерархии. Для упрощения процессов синхронизации, правом на запись в каждую такую переменную обладает только один функциональный блок (фактически, он публикует информацию о своём состоянии), всем остальным разрешён доступ только на чтение.

Следует отметить, что управляющая информация позволяет оперировать статусами функциональных блоков (процессов, подпроцессов). Поведенческие алгоритмы функциональных блоков могут также учитывать информацию о состоянии ресурсов, которые ассоциированы с функциональным блоком.

Функциональные блоки объединяются в более крупные, подобно тому, как это делается в диаграммах IDEF0 (рис. 3). Кружками обозначены переменные статуса. Переменная S1 отражает информацию о состоянии некоторого внешнего процесса. Переменная S2 отражает статус функционального блока ФБ1.1, используется в поведенческом описании функционального блока (ФБ1.2) и публикуется в рамках функционального блока более высокого уровня иерархии ФБ1. Переменная S3 позволяет реализовать зависимость поведения функционального блока ФБ1.1 от состояния функционального блока ФБ1.2, но она не входит в интерфейс функционально блока ФБ1.

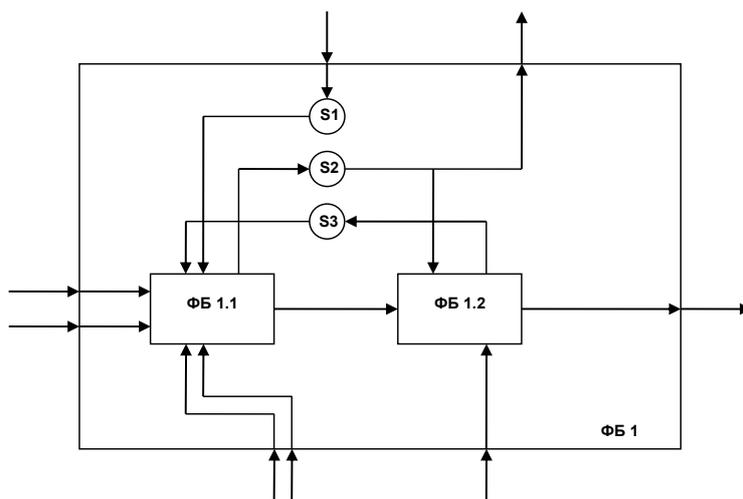


Рис. 3. Пример структурного функционального блока

Существует ряд особенностей по сравнению с обычным IDEF0-диаграммами. Во-первых, требуется строгий учёт всех связей (включая ресурсные, что не всегда реализуется в задачах системного анализа) — они должны проследиваться от конечного функционального блока до функционального блока самого высокого уровня иерархии. Во-вторых, в стандарте IDEF0 предусмотрены, например, связи от выходов функционального блока к механизмам исполнения другого блока. Для описания систем массового обслуживания такие возможности являются нетипичными.

Таким образом все связи можно разделить на следующие категории:

- ✓ передача заявок в системе от выходов функциональных блоков ко входам внутри одного уровня иерархии;

- ✓ распределение заявок среди функциональных блоков более низкого уровня иерархии;
- ✓ сбор заявок среди функциональных блоков более низкого уровня иерархии;
- ✓ распределение ресурсов среди функциональных блоков более низкого уровня иерархии;
- ✓ распространение информации управления.

Заключение

В заключение следует отметить, что в рамках статьи рассмотрен только структурный аспект описания систем массового обслуживания. Предложенный подход позволяет преодолеть недостатки описания иерархии процессов, свойственные традиционным сетевым имитационным моделям. Дополнение приведённой в статье методики структурной декомпозиции имитационных моделей методикой построения поведенческого описания функциональных блоков позволит перейти к реализации процессно-ориентированного программного обеспечения имитационного моделирования нового типа.

Список литературы

- [1]. Александров А.А., Димитриенко Ю.И. Математическое и компьютерное моделирование – основа современных инженерных наук // Математическое моделирование и численные методы. 2014. № 1 (1). С. 3-4. Режим доступа: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=mmcm&paperid=1&option_lang=rus (дата обращения: 28.07.2016)
- [2]. Романов А.Н., Тараканов П.В., Шашурин Г.В., Берчун Ю.В., Резчикова Л.А., Сокольников П.С. Моделирование роста трещин в наводороживаемых высокопрочных сталях при циклическом нагружении // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. № 4. С. 87-93.
- [3]. Захаров М.Н., Омельченко И.Н., Саркисов А.С. Ситуации инженерно-экономического анализа. М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 432 с.
- [4]. Belogurov S., Berchun Yu., Chernogorov A., Malzacher P., Ovcharenko E., Schetinin V. Development and application of CATIA-GDML geometry builder // Journal of Physics: Conference Series. 2014. Vol. 513. No 1. P. 1-5. DOI: [doi:10.1088/1742-6596/513/2/022003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/513/2/022003)
- [5]. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Изд. 4-е., пер. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. 430 с.
- [6]. Изюмский А.А., Надирян С.Л., Сенин И.С. Применение имитационного моделирования в сфере моделирования транспортных потоков // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2016. № 1. С. 52-54.
- [7]. Пушкина Н.Б., Горбатов А.В. Подходы к имитационному моделированию при моделировании дорожного движения // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2011. № 6. С. 56-68.
- [8]. Высочина О.С., Данич В.Н., Пархоменко В.П. Моделирование производственных процессов на промышленном предприятии при помощи системы имитационного мо-

делирования ARENA // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2012. № 1 (26). С. 82-85.

- [9]. Захаров М.Н., Сампиев А.М. Построение логистической модели функционирования комплекса по сжижению природного газа // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2015. № 5 (662). С. 55-61.
- [10]. Захаров М.Н., Николаев П.А. Метод оценки надежности систем снабжения предприятий при выполнении госзаказа // *Контроллинг*. 2015. № 57. С. 30-36.
- [11]. Носко А., Сафронов Е. Оптимизация имитационной модели процесса комплектации с использованием ABC-анализа (на примере автоматизированных систем хранения) // *Логистика*. 2015. № 8 (105). С. 31-35.
- [12]. Седых М.И. Загрузка автоматического стеллажного крана-штабелёра, определяемая имитационным моделированием работы склада участка ГПС // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. № 4-6. С. 91-96.
- [13]. Горбунов А.Р., Лычкина Н.Н. Парадигмы имитационного моделирования: новое в решении задач стратегического управления (объединенная логика имитационного моделирования) // *Бизнес-информатика*. 2007. № 2 (2). С. 60-66.
- [14]. Глинский Б.М., Родионов А.С., Марченко М.А., Подкорытов Д.И., Винс Д. В. Агентно-ориентированный подход к имитационному моделированию суперэвм экзафлопсной производительности в приложении к распределенному статистическому моделированию // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование*. 2012. № 18 (277). С. 93-106.
- [15]. Пономарев А.С. Обеспечение информационной безопасности вычислительных сетей на основе имитационного подхода к их моделированию // *Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере*. 2011. № 1. С. 66-70.
- [16]. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир. 1978. 424.
- [17]. Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон. Имитационное моделирование. 3-е изд. СПб.: Питер. 2004. 847 с.
- [18]. 18. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование. Учеб. пособие. М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. 280 с.
- [19]. Максимей И.В. Имитационное моделирование сложных систем. В 3 ч. Ч. 1. Математические основы. Минск: БГУ. 2009. 264 с.
- [20]. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Имитационное моделирование систем. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. 584 с.
- [21]. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. – СПб: БХВ-Петербург. 2004. 358 с.
- [22]. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб: БХВ-Петербург. 2006. 400 с.
- [23]. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум. М.: Финансы и статистика. 2006. 192 с.